

Physicochemical and antioxidant properties of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during storage

Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) durante almacenamiento

Liliana G. Mendoza-Sánchez¹; María R. Mendoza-López²; Oscar García-Barradas², Ebner Azuara-Nieto¹; Luz A. Pascual-Pineda²; Maribel Jiménez-Fernández^{1*}

¹Instituto de Ciencias Básicas, ²Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica, Universidad Veracruzana. Av. Dr. Luis Castelazo s/n, Col. Industrial-Ánimas, Xalapa, Veracruz, C.P. 91000, MÉXICO. Corro-e: maribjimenez@uv.mx, tel: (228) 841 89 00 (*Autor para correspondencia).

Abstract

Jalapeño pepper is consumed both green (unripe) and red (ripe), so it is important to evaluate the components present in both states. The aim of this study was to evaluate the effect of storage time (30 days) at room temperature (25 °C) on the physicochemical, antioxidant and textural parameters of *Capsicum annuum* var. *annuum*. During this period, there was a significant increase ($P \leq 0.05$) in the soluble solids content, acidity, and reducing sugars, whereas moisture, ash, and pH decreased. The firmness of the pericarp varied from 5.17 N to 2.88 N. The capsaicin in green state was lower than that found for the red state. Some antioxidant compounds showed a significant increase ($P \leq 0.05$) from day 15 of storage. The radical scavenging of DPPH was higher (58.35 %) in the red state of maturity in comparison with the green state of maturity (19.42 %). Some properties analyzed in Jalapeño pepper showed significant changes ($P \leq 0.05$) between day 15 and 20 of storage, coinciding with the color change from green to red. Jalapeño pepper at the red stage is a good source of antioxidants including ascorbic acid, carotenoids and polyphenols.

Keywords: maturation, fruit, postharvest, chili.

Resumen

El chile jalapeño se consume en estado verde (inmaduro) y rojo (maduro); por lo que es importante evaluar los componentes presentes en ambos. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tiempo de almacenamiento (30 días) a temperatura ambiente (25 °C), sobre los cambios fisicoquímicos, antioxidantes y los parámetros texturales de *Capsicum annuum* var. *annuum*. Durante este periodo, se produjo un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en el contenido de sólidos solubles, acidez y azúcares reductores; mientras que la humedad, las cenizas y el pH, disminuyeron. La firmeza del pericarpio varió de 5.17 a 2.88 N. La capsaicina en estado verde fue menor que la encontrada en estado rojo. Algunos de los compuestos antioxidantes mostraron incremento significativo ($P \leq 0.05$) a partir del día 15 de almacenamiento. La captura de radical DPPH fue mayor (58.35 %) en el estado rojo, en comparación con el estado verde de madurez (19.42 %). Algunas de las propiedades analizadas mostraron cambios significativos entre los días 15 y 20 de almacenamiento, coincidiendo con el cambio de color de verde a rojo. El chile jalapeño en estado rojo es una buena fuente de antioxidantes, incluyendo ácido ascórbico, carotenoides y polifenoles.

Palabras clave: maduración, fruto, postcosecha, chile



Introduction

The pepper (*Capsicum*) is one of the most important crops for human consumption, because it is a good source of different phytochemicals, including vitamins A and C, phenolic compounds, flavonoids and carotenoids, among others (Chuah et al., 2008; Topuz & Ozdemir, 2007). It is mainly consumed fresh, but it is also consumed after being put through a drying process in the form of sauces, powders, and pickles (Salinas, Liévano, Ulín-Montejo, Mercado, & Petit, 2010). The main peppers are jalapeño, serrano, habanero, ancho, mulato, pasilla, and piquín. Peppers are eaten unripe in a green state but eventually they vary in color from green to red. This last color is the result of the accumulation of different carotenoids in the chromoplasts during ripening. The predominant red pigments are capsanthin and capsorubin, and orange and yellow pigments are lutein, β -carotene (provitamin A), zeaxanthin, violaxanthin, and antheraxanthin (Paran, Ben-Chaim, Kang, & Jahn, 2007).

Phytochemical changes occur during the ripening period and the resultant effect on their antioxidant activity affects consumption and processing (Howard, Talcott, Brenes, & Villalon, 2000). There are studies that show the effect of ripening on the antioxidant properties of *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens* and *Capsicum chinense*. Conforti, Statti, and Menichini (2007) studied the antioxidant activity of immature green and red peppers of *C. annuum* L. var. *Acuminatum*. They found that the concentration of antioxidant compounds increased as the peppers reached maturity. The influence of the ripening of *C. chinense* on the content of phenols, flavonoids, carotenoids, and capsaicinoids has also been reported, where a different composition between the two stages of ripening can be observed (Menichini et al., 2009).

Despite its wide acceptance in various regional markets and its marketing potential, there is little information about the jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) in terms of its antioxidant activity and the physicochemical changes associated with the ripening process under controlled conditions, to support the establishment of the most suitable post-harvest handling. The study of the ripening process of this fruit is of great importance to generate information about its properties under controlled environmental conditions. Knowledge of the changes occurring during maturation holds great significance from both a dietary and nutritional point of view. It is therefore imperative to study the changes in the content of antioxidants at different maturity stages. The aim of this study was to evaluate the effect of storage time at 25 °C (RH = 68 %) in the jalapeño pepper (*C. annuum* var. *annuum*) in the green and red stage of maturity on the physicochemical, antioxidant, and textural properties of the fruit.

Introducción

El chile (*Capsicum*) es uno de los cultivos más importantes para el consumo humano, debido a que es buena fuente de diversos fitoquímicos, incluyendo vitaminas A y C, compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides, entre otros (Chuah et al., 2008; Topuz & Ozdemir, 2007). Se consume principalmente fresco, pero también después de ser sometido a un proceso de secado, en forma de salsas, polvos y conservas (Salinas, Liévano, Ulín-Montejo, Mercado, & Petit, 2010). Los chiles principales son el jalapeño, serrano, habanero, ancho, mulato, pasilla y piquín; los cuales se pueden consumir inmaduros (en un estado verde), pero eventualmente varían en color del verde al rojo. Este último es el resultado de la acumulación de diferentes carotenoides en los cromoplastos durante la maduración. Los pigmentos rojos predominantes son capsantina y capsorubina, los naranja y amarillos son luteína, β -caroteno (provitamina A), zeaxantina, violaxantina y la anteraxantina (Paran, Ben-Chaim, Kang, & Jahn, 2007).

Los cambios fitoquímicos ocurren durante el periodo de maduración, y el efecto resultante sobre su actividad antioxidante afecta el consumo y procesamiento (Howard, Talcott, Brenes, & Villalon, 2000). Existen estudios que muestran el efecto de la maduración en las propiedades antioxidantes de *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens* y *Capsicum chinense*. Conforti, Statti, y Menichini (2007) estudiaron la actividad antioxidante de chiles verdes y rojos de *C. annuum* L. var. *Acuminatum*, y encontraron que la concentración de compuestos orgánicos incrementó conforme los chiles alcanzaron la madurez. La influencia de la maduración de *C. chinense* sobre el contenido de fenoles, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides, también ha sido reportada, donde la composición diferente entre los dos estados de maduración puede ser observada (Menichini et al., 2009).

A pesar de su amplia aceptación en diversos mercados regionales, y de su alto potencial de comercialización, existe poca información referente al chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) en términos de su actividad antioxidante y los cambios fisicoquímicos asociados con el proceso de maduración bajo condiciones controladas, para respaldar el establecimiento del manejo poscosecha más adecuado. El conocimiento de las variaciones que ocurren durante la maduración reviste gran importancia desde ambos puntos de vista, el dietético y el nutricional. Por lo tanto, resulta imperativo estudiar los cambios en el contenido de antioxidantes en diferentes etapas de maduración. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento a 25 °C (HR = 68 %) en chile jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*), en los estados verde y rojo, sobre las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y texturales del fruto.

Materials and methods

Collection and sample preparation

Ten kilograms of the fruits of *Capsicum annuum* var. *annuum* were collected during October and November 2012 in a local farm near Jalapa Veracruz, located at latitude 19° 55' 42", longitude -96° 42' 03" and an elevation of 870 m. Fruits were harvested 110 days after planting when they reached the maximum size and a bright green homogeneous color. The fruits harvested were washed with water to remove dust and impurities, and were drained of excess water for 2 hours at room temperature. Afterwards, the samples were divided into six batches of 50 fruits (for analysis in each time: day 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 day) and stored at 25 °C and 68 % RH, and their physicochemical, antioxidant, and textural characteristics were determined every five days for 30 days.

Evaluation of the physicochemical properties

The moisture, ash, reducing sugars, °Brix, titratable acidity, pH, total carotenoids and vitamin C were analyzed by the method described by the Official Methods of Analysis (AOAC, 1995). The a_w of each sample was obtained using an Aqualab (Decagon Devices, model series 3, US). Analysis of the color of the jalapeño pepper was determined using a colorimeter (ColorFlex V1-72, Hunter Lab, US). Through the direct reading of the pericarp of three peppers at each sampling, L^* , a^* , b^* , Chroma, and hue angle (°Hue) were evaluated. The browning index and the total color change (ΔE) were determined. In order to quantify total polyphenols, the method described by Singleton, Orthofer, and Lamuela (1999) was used. The calibration curve was performed in a gallic acid standard solution at concentrations of 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, and 1.6 mg·mL⁻¹ ($R^2 = 0.980$). The separation identification and quantification of capsaicin and capsaicinoids were performed by the method used by Manirakiza, Covaci, and Schepens, (2003).

Texture analysis was conducted using the texture analyzer TA-XT-2i (Stable Micro Systems, UK) with a load cell of 5 kg. The data were processed using Texture Expert Exceed Software, version 1.00 (UK). A penetration test was performed with a needle probe of 2 mm, a pretest speed of 1 mm·s⁻¹, a test speed of 0.5 mm·s⁻¹, and a post-test speed of 0.3 mm·s⁻¹. The test was performed using the middle of the fruit, cut into 3 x 3 cm squares; the puncture was made at a distance of 8 mm in order to obtain the value in Newtons of the strength required to break the shell and obtain the maximum force for the fruit at 8 mm from the pulp.

Evaluation of antioxidant activity

To evaluate antioxidant activity, the extract proposed by Oboh, Raddatz, and Henle (2009) was used, with 1 g

Materiales y métodos

Colecta y preparación de muestras

Se colectaron 10 kg de frutos de *Capsicum annuum* var. *annuum* durante octubre y noviembre de 2012 en una finca local cercana a Jalapa, Veracruz, localizada a 19° 55' 42" LN, -96° 42' 03" LO y a 870 msnm. Esto se hizo 110 días después de la plantación, cuando alcanzaron el tamaño máximo y un color verde brillante homogéneo. Los frutos cosechados fueron lavados con agua para removerles polvo e impurezas, y se drenó el exceso de agua durante dos horas a temperatura ambiente. Después de esto, las muestras se dividieron en seis lotes de 50 frutos (para su análisis en cada periodo: 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días) y se almacenaron a 25 °C y 68 % de HR.

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas

La humedad, cenizas, azúcares reductores, °Brix, acidez titulable, pH, carotenoides totales y la vitamina C, fueron analizados mediante los métodos descritos por la *Official Methods of Analysis* (AOAC, 1995). La a_w de cada muestra fue obtenida utilizando un Aqualab (Decagon Devices, modelo serie 3, EE.UU.). El análisis del color del chile jalapeño fue determinado con un colorímetro (ColorFlex V1-72, Hunter Lab, EE.UU.). Se evaluaron L^* , a^* , b^* , croma y ángulo matiz (°Hue) a través de la lectura directa del pericarpio de tres chiles y se determinaron el índice de oscurecimiento y el cambio total de color (ΔE). Se utilizó el método descrito por Singleton, Orthofer, y Lamuela (1999), con la finalidad de cuantificar los fenoles totales. La curva de calibración fue realizada en solución estándar de ácido gálico a concentraciones de 0.2, 0.6, 1.0, 1.4 y 1.6 mg·mL⁻¹ ($R^2 = 0.980$). La separación, identificación y cuantificación de capsaicina y capsaicinoides fueron realizadas empleando el método utilizado por Manirakiza, Covaci, y Schepens, (2003).

El análisis de textura se condujo utilizando el TA-XT-2i (Stable Micro Systems, RU) con una celda de carga de 5 kg. Los datos fueron procesados usando el software Texture Expert Exceed, versión 1.00 (RU). El ensayo de penetración fue realizado con una sonda de aguja de 0.2 mm, a velocidad de preprueba de 1 mm·s⁻¹, 0.5 mm·s⁻¹ de prueba y 0.3 mm·s⁻¹ en posprueba. El experimento se realizó usando el centro del fruto, cortado en cuadros de 3 x 3 cm; la incisión se hizo a una distancia de 8 mm, con objeto de obtener el valor en Newtons de la fuerza requerida para romper la cáscara y la máxima del fruto.

Evaluación de la actividad antioxidante

Para evaluar la actividad antioxidante, se utilizó el extracto propuesto por Oboh, Raddatz, y Henle (2009), con 1 g de chile homogenizado en 10 mL de agua destilada. Se empleó el método de Yen y Gen (1995)

of pepper homogenized in 10 mL of distilled water. To determine reducing power, the method of Yen and Gen (1995) was used. The absorbance was read at 700 nm. The reducing power was reported as the absorbance of each sample. Radical scavenging activity of free radicals by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) was determined following the methodology described by Lyana-Pathirana, Shahidi, and Alassalvar (2006). The β -carotene bleaching assay was determined through the β -carotene test by Oboh et al. (2009). The absorbance of the samples and control was measured at 470 nm using a spectrometer (Perkin-Elmer Lambda 40 UV/Vis, US) against a target consisting of a β -carotene-free emulsion.

Fatty acid and volatile compound determination

The profile of fatty acids present in the jalapeño pepper was determined in the oil extracted by the Soxhlet method as described by the AOAC (1995). Fatty acids were determined by converting the oil into methyl esters through the addition of BF_3 , in accordance with the methods of López, Castellote, and López (2001). The technique used to determine volatile compounds in different states of jalapeño pepper was Headspace/gas Chromatography/mass spectrometry (GC/MC). In order to obtain the volatile compounds, 8.5 g of chili were placed into 50-mL vials, which were sealed with a polytetrafluoroethylene (PTFE)/Si cap. The Headspace was programmed at a temperature of 100 °C and an equilibrium time of 0.50 min. The injection was performed at an initial temperature of 250 °C with splitless injection, using an Agilent brand equipment, =model 122-5062 column DB-(5 %-phenyl)-methylpolysiloxane (length 60 m, diameter of 250 μm x 0.25 μm , maximum temperature 325 °C), initial flow 1.0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, initial oven temperature 40 °C, and a maximum temperature of 280 °C.

Statistical analysis

The experimental unit corresponded to 50 randomly-selected fruits for each time of analysis. All analyzes were done in triplicate ($n = 3$). Data analysis was performed using the program Statistical Analysis System (2004), the analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test ($P \leq 0.05$). The experimental data are presented as the mean and standard deviation (SD).

Results and discussion

Physicochemical properties during jalapeño ripening

Table 1 shows the values of the physicochemical properties determined in jalapeño pepper (*C. annuum* var. *annuum*) analyzed every five days during 30 days of storage, in which it can be observed that the percentage of moisture content, ash, pH and water activity

para determinar el poder reductor. La absorbancia se leyó a 700 nm. El poder reductor fue reportado como la absorbancia de cada muestra. La actividad de captura de radicales libres por 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) se determinó siguiendo la metodología descrita por Liyana-Pathirana, Shahidi y Alassalvar (2006). El ensayo de blanqueamiento de β -caroteno fue determinado a través de la prueba de β -caroteno por Oboh et al. (2009). La absorbancia de las muestras y del control se midieron a 470 nm usando un espectrómetro (Perkin-Elmer Lambda 40 UV/Vis, EE.UU.), frente a un blanco consistente en una emulsión libre de β -caroteno.

Determinación de ácidos grasos y compuestos volátiles

El perfil de los ácidos grasos presentes en el chile jalapeño se determinó en el aceite extraído por el método Soxhlet, como se describe por la AOAC (1995); para su determinación se hizo la conversión del aceite a ésteres metílicos mediante la adición de BF_3 , de acuerdo con los métodos de López, Castellote, y López (2001). La técnica implementada para determinar los compuestos volátiles en diferentes estados del chile jalapeño fue por espacio de cabeza, utilizando cromatografía de gas/espectrometría de masas (CG/EM). Con el fin de obtener los compuestos volátiles, se colocaron 8.5 g de chile en viales de 50 mL; los cuales se sellaron con un tapón de politetrafluoroetileno (PTFE)/Si. El muestreador Headspace se programó a 100 °C y tiempo de equilibrio de 0.50 min. La inyección se realizó sin división y a 250 °C, usando un equipo marca Agilent modelo 122-5062 columna DB-(5 %-fenil)-metilpolisiloxano (longitud 60 m, diámetro de 250 μm x 0.25 μm , temperatura máxima 325 °C), flujo inicial de 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, temperatura inicial del horno 40 °C y máxima de 280 °C.

Análisis estadístico

La unidad experimental correspondió a 50 frutos seleccionados aleatoriamente para cada periodo. Todos los análisis se realizaron por triplicado ($n = 3$). Se realizó ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con el programa *Statistical Analysis System*, ver. 7.0 (SAS, 2004). Los datos experimentales son presentados como la media y la desviación estándar (DE).

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas durante la maduración del chile jalapeño

El Cuadro 1 muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas determinadas en chile jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*) analizado cada cinco días durante los 30 días de almacenamiento; en este periodo se pudo observar que el porcentaje de contenido de humedad, cenizas, pH y actividad de agua, disminuyeron. Lo

decreased according to the storage time. This can be attributed to an increase in metabolic reactions and the concentration of organic acids involved in the Krebs cycle during fruit ripening. Organic acids constitute the energy reserves, and are part of the metabolic reactions involved in the synthesis of pigments, enzymes, and other materials, as well as the degradation of pectin and cellulose, which is essential for the maturation process. Similarly to these properties, carbohydrates showed a significant increase ($P \leq 0.05$) until day 15, which may be because most fruits accumulate starch during their early stages of development, and simpler sugars ($^{\circ}\text{Brix}$) arise during ripening as a result of the activity of the enzymes α -amylase, β -amylase, and starch phosphorylase (Kays, 1997). The analysis of variance revealed that the moisture content, ash and carbohydrates had significant changes ($P \leq 0.05$) between day 10 and 15 of storage, and other properties between day 15 and 20. It was also noted that all properties except ash showed no significant differences ($P \leq 0.05$) between day 20 and 25 of storage.

On the other hand, color is one of the most important parameters for selecting most foodstuffs. Jalapeño pepper is consumed both unripe (green) and ripe (red), so it is important to evaluate the color in both states. Table 1 shows that there was a significant increase ($P \leq 0.05$) in the parameters a^* and b^* between day 15 and 20 of storage, reflected visually as a change in the color from green to red, which is a feature corresponding to the beginning of maturation. The hue angle value also reflects the different states of maturation. The external appearance from day 0 until day 25 of storage under controlled conditions at 25 °C presented a total color change of 34.38 units, indicating a major change in the coloration. The stored samples showed no significant difference in total color change between day 5 and 15 (green pepper) and between day 20 and 30 of storage (red pepper). Their attractive red color is due to the presence of carotenoids, which have been reported to act as free radical scavengers (Deepa, Kaur, Goerge, Singh, & Kappor, 2007).

Capsaicin and dihydrocapsaicin contents were 91.29 mg·mL⁻¹ and 76.16 mg·mL⁻¹ in green pepper (day 0), respectively. These values were lower than those recorded for red pepper (day 30), containing 1,525.68 g·mL⁻¹ of capsaicin and 2,372.50 g·mL⁻¹ of dihydrocapsaicin. Studies have proved that capsaicinoid content is higher when green peppers mature, although the capsaicinoid content trends downward during senescence (Alvarez-Parrilla, de la Rosa, Amarowicz, & Shahidi, 2011).

The data on texture obtained by the penetration test for pepper in different ripeness states show that the fracture strength of the outer waxy layer of the pericarp decreased from an initial value of 1.57 N to 1.11 N,

anterior puede atribuirse al aumento en las reacciones metabólicas y a la concentración de ácidos orgánicos involucrados en el ciclo de Krebs durante la maduración del fruto. Los ácidos orgánicos constituyen las reservas de energía, y son parte de las reacciones metabólicas involucradas en la síntesis de pigmentos, enzimas, y otros materiales, así como en la degradación de pectina y celulosa, que es esencial para el proceso de maduración. De manera similar a estas propiedades, los carbohidratos mostraron incremento significativo ($P \leq 0.05$) hasta el día 15; lo cual pudo deberse a que la mayoría de los frutos acumulan almidón durante sus etapas tempranas de desarrollo, y los azúcares simples ($^{\circ}\text{Brix}$) emergen durante la maduración como resultado de la actividad de las enzimas α -amilasa, β -amilasa y almidón fosforilasa (Kays, 1997). El análisis de varianza reveló que el contenido de humedad, cenizas y carbohidratos, tuvieron cambios significativos ($P \leq 0.05$) entre los días 10 y 15 de almacenamiento, y otras características entre los días 15 y 20. También fue observado que todas las propiedades, excepto la ceniza, no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los días 20 y 25.

Por otro lado, el color es uno de los parámetros más importantes para seleccionar la mayoría de los productos alimenticios. El chile jalapeño es consumido tanto en estado inmaduro (verde) como en maduro (rojo), de tal manera que resulta importante evaluar el color en ambos. El Cuadro 1 muestra que hubo incremento significativo ($P \leq 0.05$) en los parámetros a^* y b^* entre los días 15 y 20, reflejado visualmente como el cambio de color de verde a rojo, lo cual es un indicador del inicio de la maduración. El valor de ángulo matiz también refleja los diferentes estados de maduración. La apariencia externa desde el día 0 hasta el 25, bajo condiciones controladas a 25 °C, presentó un cambio de color total de 34.38 unidades. Las muestras almacenadas no mostraron diferencias significativas en cambio de color total entre los días 5 y 15 (chile verde), y entre los 20 y 30 días (chile rojo). El atractivo color rojo se debe a la presencia de carotenoides, de los cuales se ha reportado que actúan como captadores de radicales libres (Deepa, Kaur, Goerge, Singh, & Kappor, 2007).

Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en chile verde (día 0) fueron de 91.29 mg·mL⁻¹ y 76.16 mg·mL⁻¹, respectivamente. Estos valores fueron menores a los registrados para chile rojo (día 30), 1,525.68 g·mL⁻¹ de capsaicina y 2,372.50 g·mL⁻¹ de dihidrocapsaicina. Estudios han probado que el contenido de capsaicinoides es más alto cuando los chiles verdes maduran, aunque el contenido de capsaicinoides tiende a la baja durante la senescencia (Álvarez-Parrilla, de la Rosa, Amarowicz, & Shahidi, 2011).

Los datos de textura, obtenidos mediante la prueba de penetración para chile en diferentes estados de

Table 1. Physicochemical and textural properties of *Capsicum annum* var. *annuum* during 30 days of storage at 25 °C.**Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas y de textura de *Capsicum annum* var. *annuum* durante 30 días de almacenamiento en 25 °C.**

Day/Día	Green pepper/Chile verde				Red pepper/Chile rojo			P-value/ P-valor
	0	5	10	15	20	25	30	
Moisture (%)/Humedad (%)	93.7b	92.7b	90.3a	89.3a	89.9a	89.5a	84.8a	0.021
Ash (%)/Ceniza (%)	0.9d	0.7c	0.7c	0.5b	0.5b	0.2a	0.1a	0.035
Carbohydrate (%)/Carbohidrato (%)	5.3a	6.5a	6.9a	9.1b	8.7b	9.9b	7.9a	0.022
Titrateable acidity (%)/Acidez titulable (%)	0.09a	0.10a	0.09a	0.06a	0.14b	0.16b	0.15b	0.041
°Bx	5.2a	4.5a	5.3a	6.3ab	6.1ab	6.5b	6.5b	0.021
pH	6.4c	6.3bc	6.1b	5.9b	5.5a	5.5a	5.6a	0.034
a _w	0.996b	0.994b	0.992b	0.992b	0.980a	0.978a	0.978a	0.045
Color L*	28.1a	31.5a	27.1a	35.8ab	40.8c	42.1c	36.1ab	0.012
a*	-8.9b	-8.7b	-5.5a	-5.7a	29.2c	35.8c	34.8c	0.038
b*	10.3b	8.3ab	5.3a	12.4b	30.1d	26.5d	28.5c	0.012
Total color change/Cambio de color total	0a	18.0b	15.3b	16.7b	31.1c	34.4c	28.3c	0.025
Chroma	12.9a	10.8a	7.7a	17.8b	42.9c	42.3c	38.7c	0.037
Hue angle/Ángulo matiz	46.1c	42.3bc	44.1bc	64.8d	40.8b	36.4b	27.6a	0.042
Browning index/Índice de oscurecimiento	11.7a	9.0a	10.9a	22.9b	112.7c	107.8c	99.5c	0.021
Epicarp firmness (N)/Firmeza de epicarpio (N)	1.5c	1.3b	1.6b	1.4b	1.1a	1.1a	1.1a	0.003
Pulp firmness (N)/Firmeza de pulpa (N)	5.2b	5.2b	5.3b	4.9b	2.8a	2.3a	2.8a	0.019

Data are expressed as means of $n = 3$ samples. Different letters within the same row mean significant difference ($P \leq 0.05$) according to the Tukey test. L*, a* and b* represent the parameters of the CIE L*a*b* color scale.

Los datos están expresados como medias de $n = 3$ muestras. Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). L*, a* y b* representan los parámetros del espacio de color CIE L*a*b*

while the maximum force of the pulp decreased from 5.17 N to 2.88 N on day 30. These changes in texture may be due to the loss of water due to breathability and enzymatic changes or because the greater the loss of water, the greater the degradation of the pectin enzyme and the lower the force required to penetrate.

Component concentration during storage

Table 2 shows the concentration of some components (total carotenoids, vitamin C and polyphenol content) and the antioxidant activity (reducing power, DPPH radical scavenging activity and antioxidant activity as oxidation of β -carotene/linoleic) in the jalapeño pepper during storage. It is known that carotenoids provide in part the color of maturity (Paran et al., 2007). The total carotenoids content at the green maturity stage (day 0) was $1,754.90 \pm 27.29$ mg·100 g⁻¹ of fresh weight and at the red maturity stage (day 30), the total carotenoids content was $1,180.2 \pm 10.91$ mg·100 g⁻¹ of fresh weight; these values were higher than those reported by Menichini et al. (2009), who found 62.7 ± 5.5 to 362 ± 23.1 mg·100 g⁻¹ for mature peppers of the variety *Lamuyo*. Similar to the other components,

maduración, muestran que la fuerza de fractura de la capa cerosa exterior del pericarpio disminuyó 1.57 a 1.11 N, mientras que la de pulpa pasó de 5.17 a 2.88 N en el día 30. Esto pudo deberse a la pérdida de agua durante la respiración y a los cambios enzimáticos; lo anterior provoca mayor degradación de la enzima pectina, y, por lo tanto, menor fuerza requerida para penetrar.

Concentración de componentes durante el almacenamiento

El Cuadro 2 muestra la concentración de algunos componentes (carotenoides totales, vitamina C y contenido de polifenoles) y la actividad antioxidante (poder reductor, actividad de captación de radicales de DPPH y actividad antioxidante como oxidación de β -caroteno/linoleico) en chile jalapeño durante el almacenamiento. Se sabe que los carotenoides aportan parcialmente el color de la madurez (Paran et al., 2007). El contenido total de carotenoides en la etapa verde de maduración (día 0) fue de $1,754.90 \pm 27.29$ mg·100 g⁻¹ de peso fresco (PF), y en la etapa roja de maduración (día 30), de $1,180.2 \pm 10.91$ mg·100 g⁻¹ PF. Estos valores fueron más altos que los reportados por Menichini et

Table 2. Variation in antioxidant activity and some components of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during 30 days of storage at 25 °C.

Cuadro 2. Variación en la actividad antioxidante y algunos componentes del chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) durante 30 días de almacenamiento a 25 °C.

Properties / Propiedades	Days of storage / Días de almacenamiento							P-value P-Valor
	0	5	10	15	20	25	30	
PC/CP	504.6d	552.8d	664 ± 2e	650.6e	480.3c	420.2b	349.8a	0.036
VC	95.1a	93.5a	76.0a	127.0b	132.6c	149.6c	145.5c	0.021
TC/CT	1,754.9b	2,386.5c	2,200.4c	3,450.2d	2,000.3c	2,243.1c	1,180.2a	0.011
AA	16.2a	41.0b	60.8b	65.7b	75.0c	74.1c	60.8b	0.019
RSA/ACR	19.4a	38.9b	51.0c	65.2e	59.9d	63.5e	58.5d	0.025
RP/PR	1.1b	1.0b	1.0b	0.9b	0.7a	0.7a	0.7a	0.067

Different letters within the same row mean significant difference ($P \leq 0.05$) according to the Tukey test ($n = 3$). PC: Polyphenols content (mg GAE-100 g⁻¹ FW), VC: Vitamin C (mg-100 g⁻¹ FW), TC: Total carotenoids (mg-100 g⁻¹ FW), AA: Antioxidant activity (%) expressed as percentage oxidation of β -carotene/linoleic, RSA: DPPH radical scavenging activity (%), RP: Reducing power (optical density 700 nm).

Los datos están expresados como medias de $n = 3$ muestras. Letras diferentes en la misma fila implican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). CP: contenido de polifenoles (mg EAG-100 g⁻¹ PF); VC: vitamina C (mg-100 g⁻¹ PF); CT: carotenoides totales (mg-100 g⁻¹ PF); AA: actividad antioxidante (%), expresada como porcentaje de oxidación de β -caroteno/linoleico; ACR: actividad de captura de radicales DPPH (%); PR: poder reductor (densidad óptica 700 nm).

total carotenoids presented two trends. From day 15 to day 30, there was a slight loss of total carotenes, probably due to the disappearance of chlorophyll and lutein during early maturation or the inhibition of their biosynthesis as a result of the transformation of chloroplasts into chromoplasts, reducing their functionality and blocking photosynthesis (Mínguez-Mosquera, & Hornero-Méndez, 1994). Subsequently, by day 15, there was a significant increase ($P \leq 0.05$) to over double the value of day 0, until a concentration of 3,450 mg-100 g⁻¹ of fresh weight was reached, which decreased during storage until a concentration of 1,180 mg-100 g⁻¹ on day 30. This may be due to metabolic processes that give rise to the conversion of existing pigments and synthesis of new carotenoids (Roura, Moreira, Capriste, & del Valle, 2001).

Peppers are among the vegetables with the highest ascorbic acid content (Vanderslice, Higgs, Hayes, & Block, 1990; Marín, Ferreres, Tomás-Barberán, & Gil, 2004). In this study, a significant difference ($P \leq 0.05$) in the ascorbic acid content of pepper was found during the 30-day ripening period. The ascorbic acid content varied from 95.1 mg-100 g⁻¹ on day 0 to 149.5 mg-100 g⁻¹ on day 25. These concentrations of ascorbic acid in green peppers are within the 46.6 to 243 mg-100 g⁻¹ range reported by several authors (Gibbs & O'Garro, 2004), which could indicate that there is a considerable variation in the levels of vitamin C among cultivars. This study found a significant increase ($P \leq 0.05$) in ascorbic acid on day 15 compared with the content on day 0, 5 and 10, for which the content of vitamin C was significantly equal ($P \leq 0.05$). Martínez, López, González-Raurich, and Bernardo (2005) found an increase of about 50 %

al. (2009), quien encontró 62.7 ± 5.5 a 362 ± 23.1 mg-100 g⁻¹ en chiles maduros de la variedad *Lamuyo*.

Similar a los otros componentes, los carotenoides totales presentaron dos tendencias. Del día 15 al 30, mostraron una ligera pérdida de carotenos totales; probablemente debido a la desaparición de clorofila y luteína durante la maduración temprana, o a la inhibición de su biosíntesis como resultado de la transformación de cloroplastos en cromoplastos, reduciendo su funcionalidad y bloqueando la fotosíntesis (Mínguez-Mosquera, & Hornero-Méndez, 1994). Subsecuentemente, alrededor del día 15, se presentó incremento significativo ($P \leq 0.05$), más del doble del día 0, hasta que alcanzó 3,450 mg-100 g⁻¹ PF; el cual decreció durante el almacenamiento hasta 1,180 mg-100 g⁻¹ en el día 30. Esto pudo deberse a procesos metabólicos que dan lugar a la conversión de pigmentos existentes, y a la síntesis de nuevos carotenoides (Roura, Moreira, Capriste, & del Valle, 2001).

Los chiles se encuentran entre los vegetales con el contenido de ácido ascórbico más alto (Vanderslice, Higgs, Hayes, & Block, 1990; Marín, Ferreres, Tomás-Barberán, & Gil, 2004). En este estudio, se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de ácido ascórbico durante el periodo de 30 días de maduración; éste varió de 95.1 mg-100 g⁻¹ en el día 0 a 149.5 mg-100 g⁻¹ en el día 25. Estas concentraciones, en chiles verdes, están dentro del rango de 46.6 a 243 mg-100 g⁻¹ reportado por varios autores (Gibbis & O'Garro, 2004), lo cual podría indicar que existe variación considerable en los niveles de vitamina C entre cultivares. También se observó incremento significativo ($P \leq 0.05$) en el día 15 comparado con los

in the ascorbic acid content of red pepper when studying the effect of the storage of *C. annuum* L., which can be attributed to the metabolism of carbohydrates, as there is an accumulation of sugars in mature fruits.

The jalapeño pepper is well known for being an excellent source of phenolic compounds, capsaicinoids, and ascorbic acid (Chuah et al., 2008; Topuz & Ozdemir, 2007). Phenolic content varied significantly ($P \leq 0.05$) during the 30-day ripening period. The initial polyphenol value was 504.6 mg gallic acid·100 g⁻¹ of fresh weight, whereas on day 30, it was 349.8 mg gallic acid·100 g⁻¹ of fresh weight. Ripeness is one of the main factors that determine the content of phenolic compounds in fruits and vegetables. In this study, the jalapeño pepper had a lower polyphenol content on day 30 compared with day 0, which coincides with the results of Marín et al. (2004), who reported high phenolic content for immature green chili, while the content in red immature and mature pepper was reduced by about four to five times. This is consistent with other authors who found that the polyphenol content decreased with the increase in fruit ripening, as determined by studying methanolic extracts of *C. annuum* var. *acuminatum* (Conforti et al., 2007). Previous studies have shown that the phenolic compound profile of pepper is related to its maturity stage and color, with the total flavonoid content decreasing during ripening and the amount of other phenolic compounds increasing (Zhuang, Chen, Sun, & Cao, 2012).

The antioxidant activity was evaluated using different techniques (Table 2). Reducing power measures the ability to donate an electron of an antioxidant. It was calculated by the intensity of the resulting blue-green solution, which absorbs at 700 nm (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Therefore, an increase in absorbance is indicative of a high reducing power in the green pepper samples. Reducing power decreased during storage time and it showed a linear relationship ($R^2 = 0.905$) with the polyphenols content, indicating that polyphenols present in jalapeño pepper act as a reducing agent by reducing ferric ion (Fe^{3+}) to ferrous ion (Fe^{2+}) in this test. On the other hand, the percentage of inhibition of DPPH radical was determined in the aqueous extracts during the 30 days of storage of jalapeño pepper. Radical inhibition in the immature green state (day 0) was 19.42 %, while for the red state of maturity it was 58.35 %. These results agree with those of Matsufuji, Nakamura, Chino, and Takeda (1998), who conducted a study of differences in the antioxidant capacity between different colorations of the pericarp in Bell pepper (*C. annuum* L.) and found that the major inhibition of the radical was in the pericarp of red bell pepper (about 90 %) and the lowest capacity detected was found in green bell pepper (about 10 %). Red pepper extract showed a higher antioxidant capacity than green. The antioxidant capacity of red pepper

días 0, 5 y 10, para los cuales el contenido de vitamina C fue significativamente igual ($P \leq 0.05$). Martínez, López, González-Raurich, y Bernardo (2005) encontraron incremento cercano al 50 % en el contenido de ácido ascórbico del chile rojo al estudiar el efecto del almacenamiento de *C. annuum* L., lo cual puede ser atribuido al metabolismo de los carbohidratos, ya que existe acumulación de azúcares en frutos maduros.

El chile jalapeño es reconocido por ser una excelente fuente de compuestos fenólicos, capsaicinoides y ácido ascórbico (Chuah et al., 2008; Topuz & Ozdemir, 2007). El valor inicial de polifenoles fue de 504.6 mg de ácido gálico·100 g⁻¹ PF, mientras que al día 30, fue de 349.8 mg de ácido gálico·100 g⁻¹ PF. La madurez es uno de los factores principales que determinan el contenido de compuestos fenólicos en frutos y vegetales. En este estudio, el chile jalapeño tuvo menor contenido de polifenoles en el día 30 comparado con el día 0; lo cual coincide con los resultados de Marín et al. (2004), quienes reportaron un alto contenido fenólico para chile inmaduro, mientras que el contenido en chile rojo inmaduro y maduro fue reducido de cuatro a cinco veces. Esto coincide con lo encontrado por otros autores, en que el contenido de polifenol disminuyó con el incremento de la maduración del fruto; como se determinó mediante el estudio de extractos metanólicos de *C. annuum* var. *acuminatum* (Conforti et al., 2007). Estudios previos han mostrado que el perfil de estos compuestos está relacionado con su etapa de madurez y el color, con disminución en el contenido total de flavonoides durante la maduración y un incremento en la cantidad de otros compuestos (Zhuang, Chen, Sun, & Cao, 2012).

La actividad antioxidante fue evaluada utilizando diferentes técnicas (Cuadro 2). El poder reductor mide la capacidad para donar un electrón de un antioxidante; éste se calculó por la intensidad de la solución azul-verde resultante, la cual absorbe a 700 nm. (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Por lo tanto, un incremento en la absorbancia es indicativo de un alto poder reductor en las muestras de chile. Este poder disminuyó durante el periodo de almacenamiento, y mostró una relación lineal ($R^2 = 0.905$) con el contenido de polifenoles, indicando que estos, en chile jalapeño, actúan como agente reductor, de ion férrico (Fe^{3+}) a ion ferroso (Fe^{2+}), en esta prueba.

Por otro lado, el porcentaje de inhibición de radicales de DPPH fue determinado en los extractos acuosos durante los 30 días de almacenamiento. En estado verde (día 0), este valor fue de 19.42 %, mientras que para el estado rojo fue de 58.35 %. Estos resultados concuerdan con los de Matsufuji, Nakamura, Chino, y Takeda (1998), quienes condujeron un estudio de las diferencias en la capacidad antioxidante entre diferentes coloraciones del pericarpio en chile morrón

has been attributed to its high levels of carotenoids, capsanthin and esters, including palmitic, myristic, and lauric, which also carry high antioxidant power (Cervantes-Paz et al., 2012). It can also be attributed to the synergistic action between the compounds and the presence of capsanthins and cryptoxanthin, mainly due to the system of conjugated double bonds capable of capturing free radicals (Young & Lowe, 2001).

For the measurement of oxidation of β -carotene, hexane extracts were made at a concentration of $1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, in triplicate, from day 0 to day 30. It demonstrated that the addition of pepper extract from different storage days inhibited the oxidation of linoleic acid. The antioxidant activity of green jalapeño pepper (day 0) was 16.24 %, increasing to 60.79 % by day 10. Pepper extract showed greater antioxidant power on day 25 of storage (74.11 ± 0.14 %), probably due to the presence of capsaicin and hydrocapsaicin, which are absent in the other stages of maturation, and the increase in vitamin E content, as has also been reported by (Conforti et al., 2007).

Fatty acid and volatile compound profile

At the green maturity stage (day 0), 11 fatty acids were identified: dodecanoic acid, pentadecanoic acid, 9-hexadecenoic acid, hexadecanoic acid, heptadecanoic acid, 9,12-octadecadienoic acid, 9-octadecenoic acid, 9,12,15-octadecatrienoic acid, octadecanoic acid, eicosanoic acid, and docosanoic acid. Table 3 shows that 54.98 % of the fatty acids present in the fruit pericarp were saturated, 5.15 % monounsaturated, and 39.87 % polyunsaturated. It is noteworthy that those found in a higher proportion were palmitic acid, linoleic acid ($\Omega 6$), and linolenic acid ($\Omega 3$). The high content of polyunsaturated fatty acids in *Capsicum*, particularly the essential fatty acids linoleic and linolenic, has been previously reported in other studies (Bekker, Ulchenko, & Glushenkova, 2002). Tetradecanoic acid was present only in the red state but not in the green state, and pentadecanoic acid, heptadecanoic acid and 9,12,15-octadecatrienoic acid were not detected at the red maturity stage. With respect to green pepper, there was a decrease in hexadecanoic and octadecanoic acids, and an increase in most of the fatty acids present, especially dodecanoic acid, with a sixfold increase by proportion, and 9-hexadecanoic acid, which increased fourfold by proportion. The acids found in a greater proportion in the sample for day 30 were palmitic acid and linoleic acid ($\Omega 6$). The percentage of saturated acids in red pepper pericarp in the ripe state was 56.06 %, whereas 10.98 % was monounsaturated and 32.91 % was polyunsaturated.

There are significant changes ($P \leq 0.05$) in capsaicinoids and aromatic compounds during the maturation process (Mazida, Salleh, & Osman, 2005). Furthermore, the presence of about 64 aromatic compounds has

(*C. annuum* L.), y encontraron que la mayor inhibición del radical fue en el pericarpio de chile morrón rojo (cerca de 90 %), mientras que la más baja fue en chile morrón verde (cerca de 10 %). El extracto de chile rojo mostró una capacidad antioxidante más alta que el verde. Esta capacidad ha sido atribuida a sus altos niveles de carotenoides, capsantina y ésteres, incluyendo palmítico, mirístico y láurico, los cuales además aportan alto poder antioxidante (Cervantes-Paz et al., 2012). También puede ser atribuida a la acción sinérgica entre los compuestos, y a la presencia de capsantinas y criptoxantinas, principalmente debido al sistema de enlaces dobles conjugados capaz de capturar radicales libres (Young & Lowe, 2001).

Para la medición de oxidación del β -caroteno, se hicieron extractos hexánicos a una concentración de $1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, por triplicado, a partir del día 0 hasta el día 30. Ello demostró que la adición de extractos de chile, de diferentes días de almacenamiento, inhibió la oxidación de ácido linoleico. La actividad antioxidante de chile jalapeño verde (día 0) fue de 16.24 %, incrementando a 60.79 % al día 10. El extracto de chile mostró mayor poder antioxidante en el día 25 (74.11 ± 0.14 %), probablemente debido a la presencia de capsaicina e hidrocapsaicina, las cuales están ausentes en otras etapas de maduración, y al incremento en el contenido de vitamina E, como también ha sido reportado por (Conforti et al., 2007).

Ácidos grasos y perfil de compuestos volátiles

En el estado verde de madurez (día 0), 11 ácidos grasos fueron identificados: pentadecanoico, 9-hexadecenoico, hexadecanoico, 9,12-octadecadienoico, octadecanoico, eicosanoico, docosanoico, 9,12,15-octadecatrienoico, dodecanoico, 9-octadecenoico y heptadecanoico. El Cuadro 3 muestra que 54.98 % de los ácidos grasos presentes en el pericarpio del fruto fueron saturados, 5.15 % monoinsaturados y 39.87 % poliinsaturados. Es de destacar que aquellos encontrados en una proporción más alta fueron el ácido palmítico, ácido linoleico ($\Omega 6$) y ácido linolénico ($\Omega 3$). El alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados en *Capsicum*, particularmente los ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico, ha sido reportado previamente en otros estudios (Bekker, Ulchenko, & Glushenkova, 2002).

El ácido tetradecanoico estuvo presente sólo en el estado rojo, y el ácido pentadecanoico, ácido heptadecanoico y ácido 9,12,15-octadecatrienoico no fueron detectados en este estado. Con respecto al chile verde, se presentó una disminución en los ácidos hexadecanoico y octadecanoico, y un incremento en la mayor parte de los ácidos, especialmente el ácido dodecanoico, con un aumento proporcional de seis veces, y el ácido 9-hexadecanoico, el cual creció cuatro veces. Los ácidos encontrados en mayor proporción (durante 30 días)

Table 3. Fatty acid profile detected in the hexane lipid fraction of the pericarp of jalapeño pepper at green and red stage using gas chromatography.**Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos detectados en la fracción lípida hexánica del pericarpio de chile jalapeño en estado verde y rojo usando cromatografía de gases.**

RT/TR	Name of compound / Nombre del compuesto	Relative area (%) / Área relativa (%)		P-value / P-valor
		Green state (day 0) / Estado verde (día 0)	Red state (day 30) / Estado rojo (día 30)	
9.18	Dodecanoic acid / Ácido dodecanoico	0.42a	2.80b	0.012
11.47	Tetradecanoate methyl / Tetradecanoato de metilo	-	8.85	0.000
12.76	Pentadecanoic acid / Ácido pentadecanoico	0.53	-	0.000
14.00	9-Hexadecenoic acid / Ácido 9-hexadecenoico	0.93a	3.87b	0.024
15.44	Hexadecanoic acid / Ácido hexadecanoico	39.42b	31.23a	0.029
16.20	Heptadecanoic acid / Ácido heptadecanoico	1.04	-	0.000
17.92	9,12-Octadecadienoic acid / Ácido 9,12-octadecadienoico	25.41a	32.91b	0.011
18.04	9-Octadecenoic acid / Ácido 9-octadecenoico	4.22a	7.11a	0.002
18.64	Octadecanoic acid / Ácido octadecanoico	10.45a	8.81b	0.003
20.55	9,12,15-Octadecatrienoic acid / Ácido 9,12,15-octadecatrienoico	14.46	-	0.000
26.12	Eicosanoic acid / Ácido eicosanoico	1.72a	2.28b	0.034
39.62	Docosanoic acid / Ácido docosanoico	1.40a	2.09b	0.040

The components of the sample were identified by their mass spectra and retention times using the Wiley and NIST mass spectral library version A.00.1995 databases. –undetected. RT: Retention time. Undetectable compounds concentration was considered zero in the analysis of variance. Different letters within the same row mean significant difference ($P \leq 0.05$) according to the Tukey test ($n = 3$).

Los componentes de la muestra fueron identificados por sus espectros de masa y tiempos de retención utilizando las bases de datos librería de espectro de masa NIST de Wiley, versión A.00.1995. –No detectado. La concentración de compuestos no detectada fue considerada cero en el análisis de varianza. Los datos están expresados como medias de $n = 3$ muestras. Letras diferentes en la misma fila implican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). TR: tiempo de retención.

been reported in another variety of pepper (Luning, de Rijk, Wichers, & Roozen, 1994). Table 4 shows that during maturation under controlled conditions, eight compounds were formed. The percentage of ethyl alcohol, acetone, dimethyl sulfide, acetaldehyde, 3-methoxy-1-propene, hexane, pentanal, and toluene present in fresh jalapeño pepper (*C. annuum* var. *annuum*) is based on the 30 days of storage. Depending on the level of maturity, either unripe (green) or ripe (red), the aroma was different due to the difference in volatile compounds. One of these compounds, dimethyl sulfide, was present in greater quantity during the 30 days of maturation compared to other volatile compounds present. No significant differences ($P \leq 0.5$) were found in the first 10 days, but thereafter a slight decrease occurred. Dimethyl sulfide is a compound formed by the hydrolysis of its precursor S-methylmethionine, which is a common amino acid present in plants (Sawamura, Shimoda, & Osajima, 1978). On the other hand, acetaldehyde was present only until day 30. It is produced by the biochemical reactions resulting from respiration in the fruit. With respect to acetone, it presents a greater proportion from day 15 on, and its presence may be due to the degradation of sugars and carotenes during the ripening process (Podd & Van Staden, 1998).

fueron el palmítico y el linoleico ($\Omega 6$). El porcentaje de ácidos saturados en el pericarpio de chile rojo, en estado maduro, fue de 56.06 %, mientras que de monoinsaturado fue 10.98 y 32.91 % de poliinsaturado.

Existen cambios significativos ($P \leq 0.05$) en capsaicinoides y compuestos aromáticos durante el proceso de maduración (Mazida, Salleh, & Osman, 2005). Además, la presencia de aproximadamente 64 compuestos aromáticos ha sido reportada en otra variedad de chile (Luning, Rijk, Wichers, & Roozen, 1994). El Cuadro 4 muestra que durante la maduración, bajo condiciones controladas se formaron ocho compuestos. El porcentaje de alcohol etílico, acetona, sulfuro de dimetilo, acetaldehído, 3-metoxi-1-propeno, hexano, pentanal y tolueno, presente en chile jalapeño fresco (*C. annuum* var. *annuum*) está basado en el almacenamiento de 30 días. Dependiendo del nivel de madurez, el aroma fue diferente debido a la diferencia en los compuestos volátiles. Uno de estos compuestos, el sulfuro de dimetilo, estuvo presente en mayor cantidad durante los 30 días de maduración, comparado con otros compuestos volátiles. No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los primeros 10 días, pero a partir de entonces ocurrió una leve disminución.

Table 4. Relative abundance (%) of volatile compounds in jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) stored at 25 °C for 30 days.**Cuadro 4. Abundancia relativa (%) de compuestos volátiles en chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) almacenado a 25 °C durante 30 días.**

RT/ TR	Compounds/ Compuestos	Day of analysis/Día de análisis							P-value/ P-valor
		0	5	10	15	20	25	30	
4.52	Ethyl alcohol/ Alcohol etílico	6.5a	6.0a	5.5a	11.6b	15.7c	19.1c	19.2c	0.004
4.68	Acetone/Acetona	11.9a	9.9a	10.9a	13.1b	22.6c	19.4c	20.1c	0.002
4.85	Dimethyl sulfide/ Sulfuro de dimetilo	55.7bc	56.8bc	68.9c	49.6b	33.8a	36.9a	31.3a	0.038
5.11	Acetaldehyde/ Acetaldehído	-	-	-	-	-	-	1.7	0.000
5.22	3-Methoxy-1-propene/ 3-Metoxi-1-propeno	-	5.4a	4.9a	6.6a	11.0b	13.6b	13.6b	0.032
5.69	Hexane/Hexano	6.9b	4.1b	4.7b	5.4b	2.8a	1.9a	1.8a	0.022
6.75	Pentanal	-	-	-	1.7a	2.9b	2.8b	2.8b	0.009
9.42	Toluene/Tolueno	28.8c	15.2a	17.7ab	18.6b	12.8a	16.5ab	19.7b	0.035

The components of the sample were identified by their mass spectra and retention times using the Wiley and NIST mass spectral library version A.00.1995 databases. RT: Retention time. –undetected. Undetected concentration was considered zero in the analysis of variance. Data are expressed as means of $n = 3$ samples. Different letters within the same row mean significant difference ($P \leq 0.05$) according to the Tukey test.

Los componentes de la muestra fueron identificados por sus espectros de masa y tiempos de retención utilizando las bases de datos librería de espectro de masa NIST de Wiley, versión A.00.1995. –No detectado. La concentración de compuestos no detectada fue considerada cero en el análisis de varianza. Los datos están expresados como medias de $n = 3$ muestras. Letras diferentes en la misma fila implican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). TR: tiempo de retención.

Conclusions

Some physicochemical properties of *C. annuum* var. *annuum* changed between 15 to 20 days of storage. The color of the pepper samples changed from green to bright red. Total carotenoids, capsaicin and vitamin C content increased during the first 15 days of storage, and the best antioxidant properties were found when the sample changed from green to bright red. In red pepper important functional fatty acids were found. The presence of volatile compounds depended on the state of maturation. The study suggests the nutritional benefit of consuming Jalapeño pepper in the red state because of enhanced functional properties.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support provided by Food Development and Research Laboratory (L-IDEA) project 124229 and Mexico's National Science and Technology Council (CONACyT), which awarded the scholarship required to conduct this research within the Master in Food Science program at the University of Veracruz.

El sulfuro de dimetilo es un compuesto formado por la hidrólisis de su precursor S-metilmetionina, el cual es un aminoácido común presente en las plantas (Sawamura, Shimoda, & Osajima, 1978). Por otro lado, el acetaldehído estuvo presente sólo durante el día 30; éste se produce por las reacciones bioquímicas resultantes de la respiración en el fruto. Con respecto a la acetona, presenta una mayor proporción a partir del día 15, y su presencia puede deberse a la degradación de azúcares y carotenos durante el proceso de maduración (Podd & Van Staden, 1998).

Conclusiones

Algunas propiedades fisicoquímicas de *C. annuum* var. *annuum* cambiaron entre los días 15 al 20 de almacenamiento. El color de las muestras de chiles cambió de verde a rojo brillante. Los contenidos totales de carotenoides, capsaicina y vitamina C incrementaron durante los primeros 15 días, y las mejores propiedades antioxidantes fueron encontradas cuando la muestra cambió de color. En chile rojo se encontraron importantes ácidos grasos funcionales. La presencia de compuestos volátiles dependió del estado de maduración. El estudio sugiere el beneficio nutricional de consumir chile Jalapeño en estado rojo debido sus propiedades.

Agradecimientos

Los autores agradecen el respaldo facilitado por el proyecto 124229 del Laboratorio de Investigación y

End of English version

References / Referencias

- Álvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2011). Antioxidant activity of fresh and processed jalapeño and serrano peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 163-173. doi: 10.1021/jf103434u
- AOAC (1995). Official methods of analysis of AOAC International, Fruits and fruit products. Arlington, VA; USA.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191-203. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042
- Bekker, N. P., Ulchenko, N. T., & Glushenkova, A. I. (2002). Lipids of *Capsicum annuum* fruit pulp. *Chemistry of Natural Compounds*, 38, 466-466. doi: 10.1023/B:CONC.0000011116.56095.ae
- Cervantes-Paz, B., Yahia, E. M., Ornelas-Paz, J. J., Gardea-Béjar, A. A., Ibarra-Junquera, V., & Pérez-Martínez, J. D. (2012). Effect of heat processing on the profile of pigments and antioxidant capacity of green and red jalapeño peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 10822-10833. doi: 10.1021/jf303091u
- Chuah, A. M., Lee, Y. C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111, 20-28. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.03.022
- Conforti, F., Statti, G. A., & Menichini, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, 102, 1096-1104. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.06.047
- Deepa, N., Kaur, C., Goerge, B., Singh, B., & Kappor, C. H. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology: Food Science and Technology*, 40, 121-129. doi: 10.1016/j.lwt.2005.09.016
- Gibbs, H. A. A., & O'Garro, L. W. (2004). Capsaicin content of West Indies hot pepper cultivars using colorimetric and chromatographic techniques. *Horticultural Science*, 39, 132-135. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/39/1/132.full.pdf+html>
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1713-1720. doi: 10.1111/j.1365-2621.1994.tb06967.x
- Kays, S. (1997). Postharvest physiology of perishable plant products. Athens: Exon Press.
- López, A., Castellote, A. I., & López, M. C. (2001). Comparison of two direct methods for the determination of fatty acids in human milk. *Chromatographia*, 54, 11-12, 743-747. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02492493#page-1>
- Desarrollo de Alimentos (I-IDEA), y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que otorgó la beca necesaria para conducir esta investigación dentro del programa de Maestría en Ciencias Alimentarias, en la Universidad Veracruzana.

Fin de la versión en español

- Luning, P. A., de Rijk, T., Wichers, H. J., & Roozen J. P. (1994). Gas chromatography mass spectrometry, and sniffing port analyses of volatile compounds of fresh bell peppers (*Capsicum annuum*) at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 977. doi: 10.1021/jf00040a027
- Lyana-Pathirana, C. M., Shahidi, F., & Alassalvar, C. (2006). Antioxidant activity of cherry laurel fruit (*Laurocerasus Officinalis* Roem) and its concentrated juice. *Food Chemistry*, 99, 121-128. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.06.046
- Manirakiza, P., Covaci, A., & Schepens, P. (2003). Pungency principles in Capsicum- analytical determinations and toxicology, In: De, A. K. (Ed.), *Capsicum. The Genus Capsicum* (pp. 71-86). UK, London: Taylor and Francis.
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 3861-3869. doi: 10.1021/jf0497915
- Martínez, S., López, M., González-Raurich, M., & Bernardo, A. A. (2005). The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science and Nutrition*, 56, 45-51. doi: 10.1080/09637480500081936
- Matsufuji, H., Nakamura, H., Chino, M., & Takeda, M. (1998). Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annuum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 3468-3472. doi: 10.1021/jf980200i
- Mazida, M. M., Salleh, M. M., & Osman, O. (2005). Analysis of volatile aroma compounds of fresh chilli (*Capsicum annuum*) during stages of maturity using solid phase extraction (SPME). *Journal of Food Composition Analysis*, 18, 427-437. doi: 10.1016/j.jfca.2004.02.001
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., & de Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, 114, 553-560. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.086
- Mínguez-Mosquera, M. I., & Hornero-Méndez, D. (1994). Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. bola

- and agridulce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 38-44. doi: 10.1021/jf00037a005
- Oboh, G., Raddatz, H., & Henle, T., (2009). Characterization of the antioxidant properties of hydrophilic and lipophilic extracts of jute (*Corchorus olitorius*) leaf. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60, 124-134. doi: 10.1080/09637480902824131
- Paran, I., Ben-Chaim, A., Kang, B. C., & Jahn, M. (2007). Capsicums. In: *Vegetables* (pp. 209-226). Springer Berlin Heidelberg.
- Podd, L. A., & Van Staden, J. (1998). The role of ethanol and acetaldehyde in flower senescence and fruit ripening - A review. *Plant Growth Regulation*, 26, 183-189. doi: 10.1023/A:1006131517539
- Roura, S. I., Moreira, M. R., Crapiste, G. H., & del Valle, C. E. (2001). Biochemical characterization of two pepper varieties in the green and red ripening stages. *Italian Journal of Food Science*, 13, 4, 391-397.
- Salinas, H. R. M., Liévano, L. E. A., Ulín-Montejo, F., Mercado, J. N., & Petit, J. D. (2010). Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*Capsicum annuum* L.) variedad glabriusculum (dunal) heiser y pickersgill. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11, 92-100.
- Sawamura, M., Shimoda, M., & Osajima, Y. (1978). Studies on off-flavor formed during heat processing of Satsuma mandarin juice (III). *Journal of the Agricultural Chemistry Society of Japan*, 52, 281-287.
- Singleton, L., Orthofer, R., & Lamuela, M. (1999). *Biochemistry of fruit ripening*. Cambridge, Great Britain: Chapman Hall.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2004). *SAS/ETS User's Guide, Version 7.0*. Cary, NC, USA: Autho
- Topuz, A., & Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 596-602. doi: 10.1016/j.jfca.2007.03.007
- Vanderslice, J. T., Higgs, D. J., Hayes, J. M., & Block, G. (1990). Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of food-as-eaten. *Journal of Food composition and Analysis*, 3, 105-118. doi: 10.1016/0889-1575(90)90018-H
- Yen, G., & Gen, H. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenecy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 27-32. doi: 10.1021/jf00049a007
- Young, A. J., & Lowe, G. M. (2001). Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385, 20-27. doi: 10.1006/abbi.2000.2149
- Zhuang, Y., Chen, L., Sun, L., & Cao, J. (2012). Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *Journal of Functional Foods*, 4, 331-338. doi: 10.1016/j.jff.2012.01.001